

УДК 622.271.3

© А.Ю. Дриженко, А.А. Шустов, А.А. Адамчук, Н.А. Никифорова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ КАРЬЕРОВ УКРАИНЫ ПРИ ИХ УГЛУБКЕ

© A. Drizhenko, A. Shustov, A. Adamchuk, N. Nikiforova

IMPROVEMENT OF OPEN-PIT MINING TECHNOLOGY DURING THE SINK RATE OF IRON-ORE DEPOSITS OF UKRAINE

Рассмотрен вопрос выемки законтурных балансовых запасов полезных ископаемых в глубинной части карьерного поля. Приведены данные о технических показателях работы глубоких карьеров Украины. Показаны новые технологические схемы раздельной выемки и складирования пород вскрыши. Представлена схема последовательности отработки крутопадающего месторождения с минимальной выемкой пород вскрыши. Обоснована экономическая эффективность предложенных решений путем уменьшения объемов выемки пород вскрыши и снижения площади нарушенных земель.

Розглянуто питання виймання законтурних балансових запасів корисних копалин в глибинній частині кар'єрного поля. Наведені дані про технічні показники роботи глибоких кар'єрів України. Показані нові технологічні схеми роздільного виймання і складування порід розкриву. Представлена схема послідовності відпрацювання крутоспадного родовища з мінімальним вийманням порід розкриву. Обґрунтована економічна ефективність запропонованих рішень шляхом зменшення об'ємів виймання порід розкриву та зниження площі порушених земель.

Введение. Развитие горнодобывающей промышленности Украины в ближайшей перспективе связано с введением в эксплуатацию мощных пластов железных руд Криворожского железорудного бассейна и прилегающих к нему мощных месторождений железистых кварцитов. Эти месторождения характеризуются крутым падением (60 – 90°) и граничной глубиной открытой разработки 500 – 800 м [1]. С другой стороны, растущая текущая глубина карьеров сопровождается систематическим увеличением объемов выемки пустых пород, которые складываются на прилегающей земной поверхности и на долгие годы

выводят ее из сельскохозяйственной эксплуатации. Вследствие этого технология доработки действующих железорудных карьеров требует коренного усовершенствования.

Состояние вопроса. Развитие открытых горных работ на глубоких карьерах ведет к увеличению объема выемки пород вскрыши, который увеличивает себестоимости товарной продукции, а также является причиной утраты значительных площадей земли под сооружение внешних отвалов и горных выработок. Действующие на сегодняшний день системы открытой разработки пород вскрыши горизонтальными слоями характеризуются выемкой основного объема пустых пород в первую треть срока эксплуатации месторождения с последующим их складированием во внешние отвалы высотой 120 – 180 м [2]. Перенесение основного объема вскрышных работ на более поздние сроки эксплуатации возможно за счет отработки пород вскрыши крутонаклонными слоями. При достижении проектной глубины разработки имеется возможность организации внутреннего отвалообразования пород вскрыши в отработанной части карьера. Дальнейшее понижение горных работ в будущем приведет к увеличению параметров рабочей зоны по породам вскрыши и уменьшению ее по полезному ископаемому.

В этой связи актуальной научно-практической задачей является разработка нового способа вовлечения в эксплуатацию законтурных запасов полезных ископаемых на глубину до 1000 – 1200 м с минимальным объемом выемки пород вскрыши при сохранении производственной мощности карьера по руде, способствующей полноценной работе комбинатов по производству товарной продукции. **Объектом** исследования является технология открытой разработки крутопадающих месторождений. **Предметом** исследования является технология доработки законтурных запасов крутопадающих месторождений открытым способом. **Идея работы** заключается в обосновании целесообразности увеличения крутизны рабочих и нерабочих бортов путем совершенствования методов заоткоски уступов при эксплуатации последних выемочных заходов при выходе рабочей зоны на предельное положение.

Изложение основного материала. Анализ работы горнодобывающих предприятий Украины (табл.) показывает, что железные руды отрабатываются карьерами с проектной глубиной до 500 м, а в отдельных случаях – 700 – 800 м. Размеры таких карьеров в плане составляют 1000 х 3500 м и более по поверхности, а их размеры по дну изменяются от 300 до 1240 м [3-4]. При этом число законтурных балансовых запасов полезных ископаемых по глубине составляет 600 – 1000 млн. т, основная часть которых расположена ниже отметки дна карьера. Вовлечение в эксплуатацию этих запасов приведет: во-первых – к повышению производственной мощности карьера по выемке пустых пород, что характеризуется возрастанием среднего и текущего коэффициентов вскрыши; во-вторых – к необходимости отвода охраняемых целиками объектов: рек, поселков, отвалов пустых пород и бедных руд, железнодорожных путей, фабрик и др.; в-третьих – к расширению площади горного отвода предприятия. Вслед-

ствие этих факторов возрастает себестоимость добычи сырой руды и производства рудного концентрата.

Таблица
Горно-технические показатели открытой разработки железных руд в Украине

Наименование показателя	Карьер ИнГОКа	Карьер ЮГОКа	Карьер № 2-бис АМКР	Карьер № 3 АМКР	Объединенный карьер ЮГОКа и № 3 АМКР	Карьер № 1 ЦГОКа	Карьер № 3 ЦГОКа	Анновский карьер СевГОКа	Карьер Полтавского ГОКа	Карьер Еристовского ГОКа
Горизонтальная мощность рудной залежи m_z , м	70 – 550	135 – 400	45 – 90	260 – 540	135 – 540	95 – 595	300 – 350	300 – 650	110 – 200	240 – 550
Угол падения залежи α , град	60 – 70	40 – 70	60 – 85	55 – 70	40 – 70	55 – 70	45 – 85	55 – 85	55 – 90	70 – 85
Проектная глубина карьера H_k , м	650	660	415	500	850	500	545	450	390	500
Проектная производительность: – по руде P_n , млн. т**	36,5	34	8,5	18	150	9,5	9	18,5	34	9
– по вскрыше V_n , млн. т**	90,3	69,4	24,7	43	14 – 16	31,7	24,8	87	133,3	65
Размеры карьера по поверхности: – ширина B , м – длина L , м	2250 3600	2550 3000	1200 2200	2000 2550	5500 6750	1630 4290	1360 1700	1500 7300	2100 4460	1500 3750
Размеры карьера по дну: – ширина b , м – длина l , м	240 1000	175 350	100 400	450 800	250 500	70 200	110 126	30 4200	70 3640	100 1880
Годовая производительность карьера по руде A_{ni} , млн. т*	35	35,56	9,7	13,8	37	9,8	4,8	15	32	9***
Годовая производительность карьера по вскрыше $A_{вск}$, млн. т*	67,6	73,4	26,1	46,7	58	37,8	13,9	77,8	96	65** *
Расстояние перевозки вскрыши L_{mp} , км	7	5	3	4	5	2	11	9	8	9
Объем породы вскрыши в карьере V_{δ} , млн. м ³	445,8 8	216,83	78,1	177,1	1985,4	154,5	288,5	397,5	166,4	705,8
Перспективные балансовые запасы $P_{з.б.}$, млн. т	407,3	534,3	838,1	675,2	9146,1	1061	841,7	593,4	61,7	750

* – 1989 год; ** – 2005 год; *** – 2013 год

Следует отметить, что значение результирующих углов откоса нерабочих бортов карьера существенно влияет на предельный коэффициент вскрыши, по величине которого устанавливают границы отработки месторождений и эффективность их разработки. В то же время путем увеличения углов откоса нерабочих бортов и отдельных уступов на них значительно уменьшают объем пород вскрыши в пределах карьерного поля, вследствие чего существенно повышается экономичность добычи железной руды. Для обеспечения устойчивости бортов проводится специальная заоткоска уступов при постановке их в предельное положение и оборка заколов по плоскости подрыва экскаваторами.

Поставленная задача решается тем, что в известном способе открытой разработки крутопадающих месторождений полезных ископаемых, который включает подготовку карьерного поля, вскрытие, разработку горной массы с установленным темпом углубления и транспортированием ее на дневную поверхность отличается тем, что предварительно на дневной поверхности возводят крутонаклонный скиповый подъемник [5]. Его приемные площадки систематически переносят вниз в соответствии с темпом углубки горных работ. Доставку руды и пустых пород по разновидностям к месту погрузки в скипы обычно производят автосамосвалами. Часть бортов карьера с расположением подъемника формируют под углами $60 - 90^\circ$ с соответствующим креплением откосов.

Кроме того, в процессе подготовки карьерного поля определяют зоны идентичных мощностей рудного тела, на каждой маломощной из которых в пределах проектной глубины разработки строят приемные бункера с пошаговым перемещением их один относительно другого под соответствующими разгрузочными бункерами. Вскрытие рабочих горизонтов осуществляют путем проведения выездных и разрезных траншей с движением фронта добычных работ в противоположном от крепления приемных устройств. Разрыхленную взрывом горную массу нагружают и транспортируют по разновидностям к приемным бункерам подъемника. Их, в соответствии с установленным темпом углубки, переносят поочередно один за другим вглубь карьера, наращивая крепления вертикальных оградительных стенок. Крепи сооружают сплошными по высоте в пределах узких зон идентичных мощностей рудного тела с открытым рабочим пространством, добычные горизонты которого последовательно соединяют с центральной зоной карьера автомобильными съездами с возможностью выхода в направлении дневной поверхности. Рудное тело отрабатывают в направлении к проектной глубине карьера одновременно с вовлечением мощных зон рудного тела по обычной системе разработки (рис.).

При этом способ открытой разработки крутопадающих месторождений может быть реализован по одной из схем [5-8]. При этом предварительно устанавливают контуры карьерного поля на земной поверхности и проектную глубину его разработки. Определяют целесообразные типы горнотранспортных машин и вспомогательное оборудование. Для организации их четкой работы в условиях систематического изменения текущей глубины карьера рассчитывают экономически целесообразное направление движения уступов в рабочей зоне

карьера и ориентирование выездных траншей с транспортированием горной массы от экскаваторных забоев на дневную поверхность.

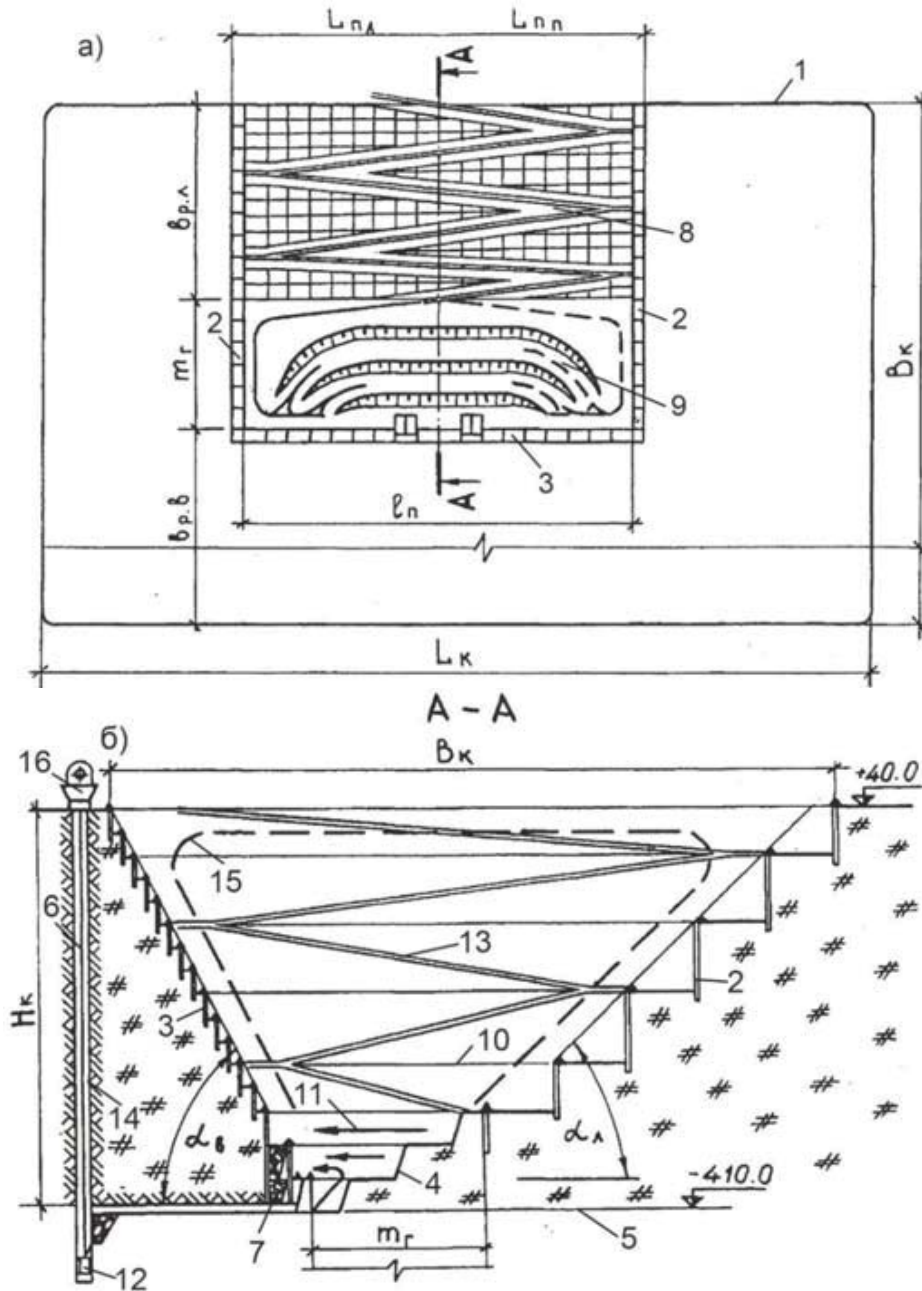


Рис. Схема последовательности отработки крутопадающего месторождения:
 а – вид в плане, б – вид в поперечном разрезе; 1 – контур карьерного поля на поверхности; 2, 3 – ограждающие железобетонные стенки в торцах карьерного поля и на его нерабочем фронтальном борту; 4 – рабочие уступы; 5 – проектная глубина разработки месторождения; 6 – подъемный скиповый комплекс; 7 – приемные бункеры скипового комплекса; 8, 9 – соответственно выездные и разрезные траншеи; 10 – рабочие горизонты карьера; 11 – направление движения загруженных и пустых автосамосвалов; 12 – скипы; 13 – автомобильные съезды; 14 – ствол скипового подъемника; 15 – контур рудного тела; 16 – выход транспортных коммуникаций на дневную поверхность

С учетом постоянной интенсивности добычи железной руды принимают соответствующий возрастающий темп углубления горных работ, обусловленный уменьшением площади рудного тела с нарастающей глубиной карьера, определяют значение предельного коэффициента вскрыши. При этом устанавливают зоны маломощных, ориентировано в пределах 50 – 200 м, идентичных между собой по параметрам и глубине участков полезного ископаемого, которые характеризуются повышенными в несколько раз долевыми коэффициентами вскрыши. Их открытая разработка обычными технологиями будет резко повышать себестоимость добычных работ. Соответственно заявленному способу разработки ведут одновременно по всей площади карьерного поля 1 с эксплуатацией карьерных экскаваторов и автосамосвалов, снижая общий объем выемки пустых пород.

В торцах карьерного поля 1 и на идентичных участках по простиранию месторождения вынимают только полезное ископаемое с креплением откосов уступов железобетонными стенками 2, 3 на соответствующих маломощных участках месторождения. Рабочие уступы на этих участках с соответствующими площадками 4 перемещают вдоль простирания месторождения от границ карьерного поля 1 к его середине с формированием единого открытого рабочего пространства, где мощные рабочие участки отрабатывают в поперечном направлении к проектной глубине разработки месторождения 5.

Для транспортирования полезного ископаемого на дневную поверхность при разработке маломощных участков на торцах карьерного поля 1 и идентичных участках по простиранию месторождения 3 сооружают скиповые подъемные комплексы 6 с приемными бункерами 7 на нижних рабочих площадках 4, соединяют их с рабочей зоной карьера соответствующими капитальными выездными 8 и разрезными 9 траншеями. Полезное ископаемое по разновидностям транспортируют только с подъемом на один уступ или по рабочему горизонту 10 в направлении 11 к приемному бункеру 7, где перегружают в скип 12 соответствующего подъемного комплекса 6. При понижении глубины разработки приемные бункера соответственно установленному темпу углубления переносят поочередно один за одним вглубь на более глубокие горизонты 4 с соответствующим наращиванием скипового ствола 14. Автосамосвалы в начале работы и по ее завершению перемещаются по автосъездам 13 и системе капитальных траншей с выходом на дневную поверхность. Систему капитальных траншей размещают на нерабочих бермах карьера с выходом выездной траншеи 8 и дальше на дневную поверхность. При этом месторождение в центральной зоне карьера разрабатывают по обычной технологии с вскрытием каждого нижележащего горизонта 4 со стороны, противоположной выезду на дневную поверхность контура 1.

Мощные участки месторождения отрабатывают поперечными заходками с углублением в направлении от выезда из карьера. Благодаря ограждению стенками 2, 3 на маломощных участках рудного тела предупреждается разнос бортов карьера объемом V (млн. м³), и соответствующая площадь земной поверхности S (га), величины которых определяют по формулам:

$$V = 10^{-6} \cdot n \cdot H_K^2 \cdot ctg\alpha(L_M + m_T); \quad S = 2 \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot H_K \cdot ctg\alpha(L_M + m_T);$$

где: n – количество маломощных участков в пределах карьерного поля, ед.; H_K – проектная глубина карьера, м; α – угол наклона нерабочего борта карьера, градусы; L_M, m_T – длина и горизонтальная толщина маломощных участков полезного ископаемого, м.

При этом одновременно ведут отработку только маломощных участков полезного ископаемого в пределах карьерного поля без разноса соответствующих бортов карьера по породам вскрыши контура 1 с использованием в качестве крепления выработанного пространства на всю глубину железобетонной стенки 2 и 3 и выдачу полезного ископаемого на дневную поверхность 1 скиповыми подъемниками 6.

Выводы. Предложенная технология отработки маломощных участков карьерного поля без разноса нерабочих бортов позволяет получить в совокупности значительную экономию материальных и денежных ресурсов, а также предупредить от нарушения значительную площадь сельскохозяйственных угодий. Так, в условиях открытой разработки месторождений железистых кварцитов ПАО «Центральный ГОК» в пределах карьера №3 имеется возможность обрабатывать законтурные запасы руды мощностью 50-100 м без выемки пород вскрыши на торцевых участках длиной по 400 м на глубину до 500 м. Формирование выработанного пространства под углом 90° вместо 40° по аналогии с проектом позволит уменьшить объем выемки пород вскрыши на 300 млн. м³ и предупредить нарушение земной поверхности только карьером на площади 300 га. Кроме того, предупреждается также и нарушение поверхности земли внешним отвалом.

Общая эффективность предложенного способа будет обоснована в процессе выполнения проектной документации на разработку месторождения и существенно увеличена за счет уменьшения капитальных вложений на сооружение и эксплуатацию крутонаклонных скиповых подъемников с закреплением выработанного пространства глубоких карьеров вертикальными оградительными железобетонными стенками.

Перечень ссылок

1. Новожилов М.Г. Технология открытой разработки южной группы месторождений железистых кварцитов Кривбасса на больших глубинах / М.Г. Новожилов, С.А. Бондарь, А.Ю. Дриженко // Сб. материалов 2-го Всесоюзного научно-технического совещания по проблемам разработки глубоких карьеров. – К.: Наукова думка, 1979. – С. 16 – 22.
2. Дриженко А.Ю. Открытая разработка железных руд Украины: состояние и пути совершенствования: моногр. / А.Ю. Дриженко, Г.В. Козенко, А.А. Рыкус. – Д.: НГУ, 2009. – 452 с.
3. Дриженко А.Ю. Карьерные технологические горнотранспортные системы: моногр. / А.Ю. Дриженко. – Д-ск.: НГУ, 2011. – 542 с.
4. Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи: підручник / А.Ю. Дриженко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2017. – 590 с.

5. Патент №115127 Спосіб відкритої розробки крутоспадних родовищ корисних копалин: / А.Ю. Дриженко, Н.А. Нікіфорова, Тамуя Садо Арманд, Садо Даніл; заявл. 22.06.16; опубл. 10.04.17, Бюл. №7
6. Патент №111921 Спосіб відкритої розробки нагірно-заглибленого родовища залізної руди: / А.Ю. Дриженко, Траоре Ібрагіма, Ельхадж Умар; заявл. 19.05.16; опубл. 25.11.16, Бюл. №22
7. Патент №117069 Спосіб підготовки до рекультивації відробленого та затопленого водою залізородного кар'єру: / А.Ю. Дриженко, А.А. Адамчук, П.В. Козенко, Н.А. Нікіфорова; Опубл. 12.06.17, Бюл. №11.
8. Адамчук А.А. Исследование параметров доработки глубоких карьеров открытым способом / А.А. Адамчук // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Д.: НГУ, 2017. – №50. – С. 10 – 17.

ABSTRACT

Purpose of research is the substantiation of depth zone parameters in open-pit during finalizing of steeply iron-ore deposits with identification of rational length transportation of rock mass inside-face dumping trucks to functional dumping stations in operation surface carriers.

The methodology of research consists of determination relation of construction parameters combined open-cut transport during finalizing of deep deposits with nominal capacity of iron-ore mining including minimal practicable increasing current stripping ratio and carrying its maximum value on finalizing period of exploitation with achievement of ultimate depth.

Findings. To establish the practicability of mining front zones of pit in Central Mining and Concentration Complex #3 to depth for 500 meter without mining of stripping soils at the 90-degree angle instead 40-degree. It will allow decreasing the quantity of overburden operations at 300 million cubic meters and prevent a surface damage at about 300 hectares.

The originality of research lies in improvement of finalizing of deep iron-ore deposits in order to decrease of capital and running costs by exploitation steeply of skip winders in front zone of pit field.

Practical implications are to substantiate the parameters of finalizing iron-ore deposits with allocation stripping soils in mined-out space providing the ability to cultivation for agricultural works and growing of tree plantation

Keywords: *iron-ore pit, steep pitch, ore and stripping soils capacity, loading and spoil banks, slope protection benches, skip winders, capital costs, ore and stripping soils production cost*